

# USO DE BIOINSUMOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO SOBRE SUSTENTABILIDADE E PROCESSOS QUÍMICOS DO SOLO

USE OF BIOINPUTS IN AGRICULTURE: A REVIEW OF SUSTAINABILITY AND  
SOIL CHEMICAL PROCESSES

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias • 14/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/781365493](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781365493)

Pedro Soares de Lima<sup>1</sup>

Mário Diniz Agra<sup>2</sup>

Josilene Pereira Silva<sup>3</sup>

José Vitor da Silva Nunes<sup>4</sup>

Giselle Silva de Souza<sup>5</sup>

## RESUMO

A agricultura contemporânea enfrenta o desafio de ampliar a produtividade sem comprometer a conservação ambiental e a qualidade dos recursos naturais. Nesse contexto, os bioinsumos têm se destacado como alternativas sustentáveis aos fertilizantes e defensivos químicos convencionais, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a melhoria da fertilidade do solo. O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o papel dos bioinsumos na sustentabilidade agrícola, com ênfase em suas aplicações químicas no solo, nos impactos agronômicos e ambientais e nas perspectivas futuras de utilização. A pesquisa caracterizou-se como uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, natureza descritiva e analítica, estruturada conforme as recomendações do protocolo PRISMA. O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases Google Scholar, SciELO e Portal de Periódicos CAPES, utilizando descritores relacionados a bioinsumos, biofertilizantes, microbiologia do solo e sustentabilidade agrícola. Os resultados evidenciaram que os bioinsumos promovem importantes alterações químicas e biológicas no solo, favorecendo processos como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, ciclagem de nutrientes e aumento da matéria orgânica. Além disso, verificou-se que esses insumos contribuem para a conservação da microbiota edáfica, redução da contaminação ambiental e fortalecimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Apesar dos benefícios observados, a literatura também aponta limitações técnicas, econômicas e regulatórias que ainda dificultam sua consolidação em larga escala. Conclui-se que os bioinsumos representam ferramentas estratégicas para a transição agroecológica e para o desenvolvimento de uma agricultura mais resiliente, sustentável e ambientalmente equilibrada.

**Palavras-chave:** Bioinsumos; Sustentabilidade agrícola; Química do solo; Biofertilizantes; Microbiologia do solo.

## **ABSTRACT**

Contemporary agriculture faces the challenge of increasing productivity without compromising environmental conservation and the quality of natural resources. In this context, bioinputs have emerged as sustainable alternatives to conventional chemical fertilizers and pesticides, contributing to the reduction of environmental impacts and the improvement of soil fertility. This study aimed to analyze, through a systematic literature review, the role of bioinputs in agricultural sustainability, with emphasis on their chemical applications in soil, agronomic and environmental impacts, and future perspectives for their use. The research was characterized as a bibliographic review with a qualitative, descriptive, and analytical approach, structured according to the recommendations of the PRISMA protocol. The bibliographic survey was carried out in the Google Scholar, SciELO, and CAPES Journal Portal databases, using descriptors related to bioinputs, biofertilizers, soil microbiology, and agricultural sustainability. The results showed that bioinputs promote important chemical and biological changes in the soil, favoring processes such as biological nitrogen fixation, phosphorus solubilization, nutrient cycling, and increased organic matter. In addition, these inputs contribute to the conservation of soil microbiota, reduction of environmental contamination, and strengthening of sustainable agricultural systems. Despite the observed benefits, the literature also highlights technical, economic, and regulatory limitations that still hinder their large-scale consolidation. It is concluded that bioinputs represent strategic tools for the agroecological transition and for the development of a more resilient, sustainable, and environmentally balanced agriculture.

**Keywords:** Bioinputs; Agricultural sustainability; Soil chemistry; Biofertilizers; Soil microbiology.

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura contemporânea enfrenta o desafio de atender à crescente demanda mundial por alimentos, fibras e biocombustíveis sem comprometer a conservação ambiental e a qualidade dos recursos naturais, especialmente do solo. Nesse cenário, o modelo agrícola convencional, baseado no uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos, tem sido amplamente questionado devido aos impactos ambientais associados à contaminação do solo e da água, à perda da biodiversidade e aos riscos à saúde humana. Além disso, o uso excessivo e inadequado de agroquímicos tem sido relacionado ao aumento de casos de intoxicação em estabelecimentos agropecuários brasileiros, evidenciando a necessidade de reformulação das práticas produtivas em direção a sistemas mais sustentáveis (Dill, 2022).

Diante desse contexto, a sustentabilidade agrícola tornou-se elemento central nas discussões científicas e tecnológicas voltadas ao desenvolvimento de sistemas produtivos mais equilibrados, resilientes e ambientalmente responsáveis. Entre as estratégias que vêm ganhando destaque destaca-se a utilização de bioinsumos, considerados alternativas promissoras para a redução da dependência de insumos químicos sintéticos e para a promoção da qualidade química, física e biológica do solo (Silva *et al.*, 2024).

Os bioinsumos são produtos de origem biológica obtidos a partir de microrganismos, extratos vegetais, resíduos orgânicos e compostos naturais, empregados com a finalidade de favorecer o

desenvolvimento vegetal, melhorar a disponibilidade de nutrientes e contribuir para o equilíbrio ecológico dos sistemas agrícolas (Caldas, 2024). Apesar da crescente relevância desses insumos, ainda não existe uma definição universalmente consolidada capaz de abranger toda a complexidade e diversidade de aplicações associadas ao termo. No contexto brasileiro, a expressão “bioinsumos” é frequentemente utilizada como sinônimo de produtos biológicos ou de base biológica, incluindo biofertilizantes, bioinoculantes, biodefensivos e bioestimulantes (Dill, 2022).

No âmbito legal, o Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, define biofertilizante como produto que contém princípios ativos ou agentes orgânicos capazes de atuar no desenvolvimento das plantas, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola e para a melhoria das características do cultivo (Silva *et al.*, 2022). Entre os principais bioinsumos empregados na agricultura destacam-se os biofertilizantes, produzidos a partir da fermentação de materiais orgânicos, como esterco animal e resíduos vegetais, podendo ser enriquecidos com minerais autorizados nos sistemas de cultivo orgânico (Silva *et al.*, 2022).

A utilização de bioinsumos representa uma importante mudança paradigmática nos sistemas agrícolas modernos, uma vez que promove a integração entre produtividade e conservação ambiental. Diversos estudos demonstram que esses insumos exercem influência significativa sobre as propriedades químicas e biológicas do solo, favorecendo processos como ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e aumento da matéria orgânica. Tais mecanismos contribuem para a melhoria da

fertilidade do solo e para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis e ecologicamente equilibrados (Silva *et al.*, 2024).

Além dos benefícios agronômicos, os bioinsumos apresentam elevada relevância ambiental por reduzirem a necessidade de fertilizantes e pesticidas sintéticos, minimizando os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de agroquímicos. Dessa forma, sua aplicação está diretamente associada à promoção da agricultura regenerativa, à conservação da microbiota do solo e à mitigação de problemas ambientais relacionados à degradação dos ecossistemas agrícolas (Feitosa *et al.*, 2024).

Embora os avanços científicos e tecnológicos relacionados aos bioinsumos tenham se intensificado nos últimos anos, informações acerca de seus mecanismos de ação, eficiência agronômica e aplicações químicas no solo ainda permanecem dispersas na literatura científica. Nesse sentido, torna-se relevante reunir e discutir os principais estudos desenvolvidos sobre a temática, contribuindo para a ampliação do conhecimento científico e para o fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis.

Considerando a expansão das pesquisas relacionadas aos bioinsumos e a necessidade de consolidação do conhecimento científico sobre suas aplicações agrícolas, este estudo foi desenvolvido na forma de uma revisão sistemática da literatura, estruturada conforme as recomendações do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). A adoção desse protocolo possibilita maior rigor científico na identificação, seleção e análise dos estudos incluídos, contribuindo para a confiabilidade e transparência metodológica da revisão. Dessa forma, o presente trabalho busca analisar

criticamente o papel dos bioinsumos na promoção da sustentabilidade agrícola, com ênfase nos efeitos químicos promovidos no solo, nos impactos agronômicos e ambientais associados à sua utilização, bem como nas limitações e perspectivas futuras para sua aplicação em sistemas agrícolas sustentáveis.

## **2. METODOLOGIA**

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, com natureza descritiva e analítica, cujo objetivo foi reunir, analisar e discutir produções científicas relacionadas ao uso de bioinsumos na agricultura, com ênfase em suas aplicações químicas no solo, nos impactos ambientais e agronômicos e na sua contribuição para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

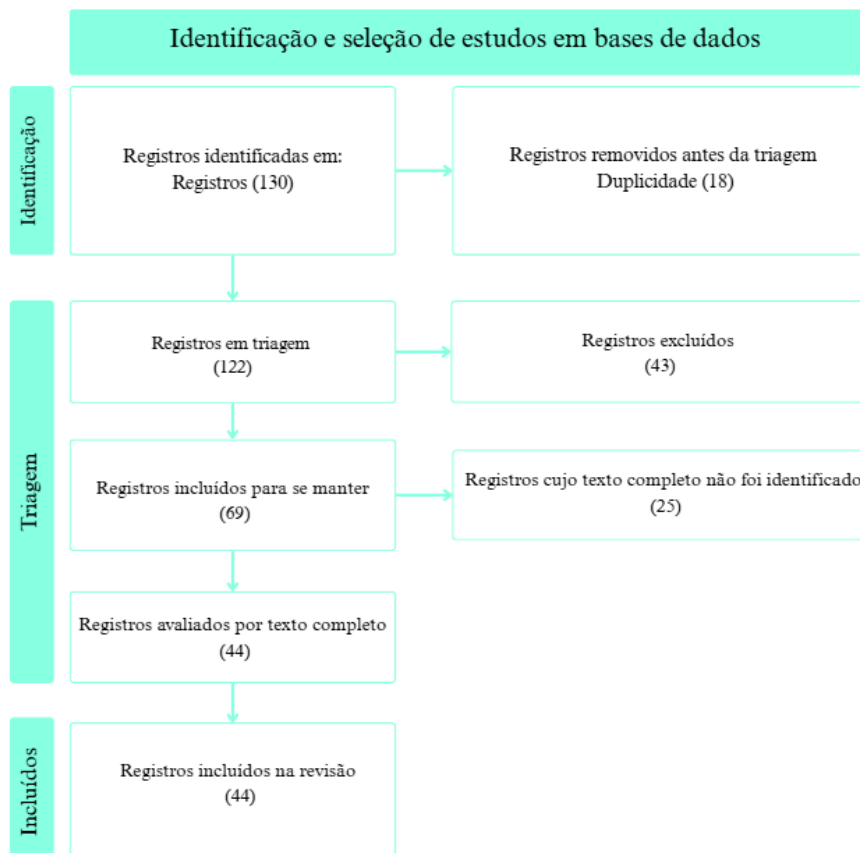
A escolha pela revisão de literatura justifica-se pela necessidade de sistematizar evidências científicas dispersas na literatura acerca dos bioinsumos, considerando suas múltiplas aplicações na agricultura contemporânea e seus efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Dessa forma, busca-se compreender criticamente como esses insumos vêm sendo discutidos no campo científico, identificando avanços, limitações e perspectivas para sua consolidação como alternativa aos insumos sintéticos.

O percurso metodológico foi estruturado com base nos pressupostos de revisões sistematizadas da literatura, priorizando rigor científico, transparência e reprodutibilidade. Para tanto, foram adotados procedimentos metodológicos voltados à organização, triagem e análise crítica das produções científicas, assegurando a consistência e confiabilidade dos resultados obtidos.

Além disso, o processo de levantamento e seleção das produções foi orientado pelas recomendações do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021), o qual contribui para a padronização das etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos. A adoção desse protocolo favoreceu a organização sistemática das informações e a transparência do processo de seleção, possibilitando a reprodutibilidade da revisão por outros pesquisadores.

O processo de identificação e seleção dos estudos seguiu as etapas propostas pelo método PRISMA. Inicialmente, foram identificados 130 estudos nas bases de dados Google Scholar (Google Acadêmico), SciELO e Portal de Periódicos CAPES. Após a remoção de duplicatas (n = 18), permaneceram 112 registros para a etapa de triagem por título e resumo. Nessa fase, foram excluídos 43 estudos por não atenderem aos critérios de inclusão previamente estabelecidos. Assim, 69 artigos foram avaliados na íntegra, dos quais 25 foram excluídos por não apresentarem aderência direta ao tema ou por insuficiências metodológicas. Ao final, 44 estudos compuseram o corpus final da revisão, conforme apresentado no fluxograma metodológico (Figura 1).

**Figura 1.** Fluxograma do processo de seleção dos estudos



Fonte: Dados dos autores (2026).

O delineamento metodológico também foi orientado por princípios de sistematização da literatura científica, que destacam a importância da seleção criteriosa das fontes e da análise interpretativa das evidências disponíveis. Nesse sentido, foram incluídos estudos que abordassem o uso de bioinsumos na agricultura, suas aplicações químicas no solo, seus efeitos sobre a microbiota edáfica, bem como seus impactos ambientais e agronômicos.

## 2.1. Estratégia de Busca

O levantamento das produções científicas foi realizado em bases de dados amplamente reconhecidas na área científica, incluindo Google Scholar (Google Acadêmico), SciELO e Portal de Periódicos CAPES, além de periódicos nacionais e internacionais relacionados à agronomia, química do solo e sustentabilidade agrícola.

Para ampliar a sensibilidade da busca, foram utilizados descritores combinados por operadores booleanos (AND e OR), incluindo: “bioinsumos”, “biofertilizantes”, “biopesticidas”, “microrganismos do solo”, “química do solo”, “sustentabilidade agrícola”, “*soil bioinputs*”, “*biofertilizers*”, “*biopesticides*” e “*soil microbiology*”.

O recorte temporal contemplou publicações entre 2009 e 2026, período caracterizado pela intensificação das pesquisas sobre agricultura sustentável, microbiologia do solo e tecnologias biológicas aplicadas à produção agrícola. Além disso, foi realizada busca manual nas referências dos estudos selecionados, a fim de identificar trabalhos adicionais relevantes.

## **2.2. Critérios de Inclusão e Exclusão**

Foram incluídos estudos que abordassem diretamente o uso de bioinsumos na agricultura, incluindo suas aplicações no solo, efeitos químicos e biológicos, impactos ambientais e contribuições para sistemas agrícolas sustentáveis.

Foram considerados artigos científicos, revisões, dissertações, teses e livros acadêmicos publicados em português e inglês, com acesso ao texto completo e aderência ao objeto de estudo. Também foram priorizados estudos com aplicação no contexto agrícola e relacionados à produção vegetal.

Foram excluídos estudos com foco exclusivamente clínico, veterinário ou industrial sem relação com o solo agrícola, além de trabalhos duplicados, resumos simples, artigos de opinião e produções com metodologia insuficientemente descrita ou sem rigor científico adequado.

### **2.3. Processo de Seleção dos Estudos**

A seleção dos estudos ocorreu em etapas sequenciais. Inicialmente, foram identificadas publicações nas bases de dados selecionadas. Em seguida, realizou-se a triagem por meio da leitura de títulos e resumos, excluindo estudos fora do escopo da pesquisa.

Posteriormente, os estudos potencialmente relevantes foram analisados na íntegra, permitindo a verificação de sua aderência ao tema e contribuição para os objetivos da revisão. Ao final, os trabalhos selecionados compuseram o corpus analítico utilizado na construção das discussões científicas.

### **2.4. Avaliação das Produções Selecionadas**

Os estudos incluídos foram analisados qualitativamente com base em seus objetivos, referenciais teóricos, metodologias empregadas e principais resultados. Também foram considerados aspectos como consistência metodológica, coerência entre objetivos e conclusões e contribuição para o avanço do conhecimento sobre bioinsumos na agricultura.

Essa análise permitiu identificar convergências, divergências e lacunas na literatura científica, especialmente no que se refere aos efeitos dos bioinsumos sobre a química do solo e sua aplicação em sistemas agrícolas sustentáveis.

### **2.5. Procedimentos de Análise e Organização dos Dados**

Os dados extraídos das produções selecionadas foram organizados em quadros analíticos contendo informações como autoria, ano de

publicação, objetivo do estudo, abordagem metodológica e principais resultados relacionados ao uso de bioinsumos.

A análise foi realizada por meio de categorização temática, permitindo a organização dos estudos em eixos analíticos, tais como: (i) efeitos dos bioinsumos na química do solo; (ii) impactos ambientais e sustentáveis; (iii) interação bioinsumos–microbiota do solo; e (iv) limitações e desafios de aplicação.

A partir dessas categorias, foi elaborada uma síntese interpretativa das evidências científicas, possibilitando uma compreensão integrada dos efeitos dos bioinsumos na agricultura contemporânea e suas implicações para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1. Classificação e Mecanismos de Ação dos Principais Bioinsumos Utilizados na Agricultura**

Os bioinsumos constituem insumos de origem biológica derivados de microrganismos, extratos vegetais, substâncias naturais ou materiais orgânicos, utilizados para promover a nutrição vegetal, a sanidade das culturas, o desenvolvimento das plantas e a qualidade do solo. Sua utilização está associada aos princípios da agricultura sustentável, sobretudo pela redução dos impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de insumos químicos sintéticos (Du Jardin, 2015; Rouphael; Colla, 2020). Na literatura técnico-científica recente e nas normativas do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), os bioinsumos são classificados em diferentes grupos funcionais, incluindo biofertilizantes, inoculantes, bioestimulantes, agentes de controle biológico e condicionadores de solo (Du Jardin, 2015; Rouphael; Colla, 2020). Embora essa classificação possua

finalidade organizacional, muitos bioinsumos apresentam caráter multifuncional, atuando simultaneamente em processos fisiológicos, nutricionais e microbiológicos das culturas (Calvo; Nelson; Kloepper, 2014; Yakhin *et al.*, 2017).

Os biofertilizantes e inoculantes desempenham papel fundamental na disponibilização e assimilação de nutrientes pelas plantas, especialmente por meio da ação de microrganismos promotores de crescimento vegetal. Entre os principais organismos utilizados destacam-se bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Bradyrhizobium* e *Rhizobium*, bactérias solubilizadoras de fosfato, como *Pseudomonas* e *Bacillus*, além de fungos micorrízicos arbusculares. Seus mecanismos de ação envolvem a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de nutrientes indisponíveis no solo e o fortalecimento das interações simbióticas entre raízes e microrganismos (Basu *et al.*, 2021). Evidências experimentais demonstram que a adoção de biofertilizantes e inoculantes pode reduzir significativamente a dependência de fertilizantes minerais, aumentar a eficiência nutricional das culturas e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Adesemoye; Torbert; Kloepper, 2009; Mahanty *et al.*, 2017).

Os bioestimulantes compreendem substâncias e microrganismos capazes de atuar diretamente nos processos fisiológicos das plantas, promovendo crescimento, desenvolvimento e tolerância a estresses ambientais. Incluem-se nessa categoria extratos de algas, substâncias húmicas, aminoácidos, hidrolisados proteicos e bactérias promotoras de crescimento vegetal. Seu funcionamento está relacionado à regulação hormonal, à ativação metabólica e à indução de mecanismos de defesa vegetal, favorecendo a absorção de água e nutrientes e aumentando a resistência das plantas a

condições adversas (Halpern *et al.*, 2015; Baltzar *et al.*, 2021). Estudos recentes apontam incrementos significativos de produtividade e melhoria qualitativa dos produtos agrícolas submetidos à aplicação de bioestimulantes, sobretudo em condições de estresse hídrico e salino (Bulgari; Franzoni; Ferrante, 2019).

Os agentes de controle biológico, também denominados biodefensivos, constituem importante alternativa ao uso intensivo de agrotóxicos químicos. Esses organismos atuam no manejo de pragas, doenças e plantas invasoras por meio de diferentes mecanismos biológicos, como antibiose, competição, parasitismo e indução de resistência sistêmica nas plantas. Entre os principais agentes utilizados destacam-se fungos do gênero *Trichoderma*, bactérias como *Bacillus thuringiensis* e fungos entomopatogênicos como *Beauveria bassiana* (Köhl; Kolnaar; Ravensberg, 2019). Ensaio de campo demonstram elevada eficiência desses organismos no controle fitossanitário, reduzindo significativamente a incidência de doenças e pragas sem comprometer organismos benéficos ou favorecer resistência biológica (Pertot *et al.*, 2017; Damalas; Koutroubas, 2018).

Os condicionadores de solo, por sua vez, atuam na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico. Compostos orgânicos, substâncias húmicas e consórcios microbianos favorecem a agregação do solo, aumentam a retenção hídrica, estimulam a microbiota nativa e intensificam a ciclagem de nutrientes. Tais efeitos contribuem para o desenvolvimento radicular, para a recuperação de áreas degradadas e para a manutenção da fertilidade do solo em longo prazo (Lehmann *et al.*, 2020). Pesquisas conduzidas em sistemas agrícolas contínuos demonstram aumento dos teores de matéria orgânica e melhoria

estrutural do solo após aplicações sucessivas desses insumos (Diacono; Montemurro, 2015).

A multifuncionalidade constitui uma das principais características dos bioinsumos contemporâneos, uma vez que diversos organismos exercem simultaneamente funções nutricionais, fisiológicas e fitossanitárias. O gênero *Trichoderma*, por exemplo, além de atuar no controle biológico de fitopatógenos, também estimula o crescimento vegetal e favorece a absorção de nutrientes. Entretanto, a eficiência desses produtos depende diretamente de fatores como dose, compatibilidade, condições ambientais e manejo agrônomico adotado (Poveda, 2021). Nesse contexto, os avanços recentes nas áreas de microbiologia, bioquímica e biotecnologia têm ampliado o desenvolvimento de formulações mais estáveis e eficientes, consolidando os bioinsumos como elementos estratégicos para a transição agroecológica e para a construção de modelos agrícolas ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis.

### **3.2. Alterações Químicas no Solo Promovidas Pelo Uso de Bioinsumos**

Os solos brasileiros apresentam elevada diversidade quanto às suas características físicas, químicas e mineralógicas, resultado da variabilidade climática e geológica do território nacional. Essa heterogeneidade implica diferentes respostas aos sistemas de manejo agrícola, exigindo estratégias específicas para a manutenção da fertilidade e da sustentabilidade produtiva. Nesse contexto, práticas inadequadas de uso do solo podem comprometer sua qualidade química e biológica, intensificando processos de degradação, como acidificação, perda de matéria orgânica e redução da capacidade produtiva. Além disso, o solo desempenha

papel central no ciclo global do carbono, atuando como um importante reservatório natural. Quando manejado de forma inadequada, pode deixar de funcionar como sumidouro de carbono e tornar-se fonte emissora de CO<sub>2</sub>, contribuindo para o agravamento das mudanças climáticas (Dill, 2022).

Do ponto de vista químico, os bioinsumos são constituídos por compostos bioativos de origem natural, incluindo ácidos orgânicos, fenóis, terpenos, alcaloides e outros metabólitos secundários. Esses compostos apresentam elevada reatividade química e atuam diretamente na modulação dos processos bioquímicos do sistema solo-planta-microrganismo, influenciando a disponibilidade de nutrientes e a dinâmica da matéria orgânica. Sob essa perspectiva, tais interações podem ser compreendidas a partir de fundamentos da bioquímica e da ecologia, uma vez que envolvem tanto reações moleculares quanto relações ecológicas entre organismos e o ambiente (Mininel et al., 2026).

Nesse contexto, a adoção de práticas de manejo voltadas à conservação da atividade biológica do solo, como o uso de bioinsumos, tem se mostrado essencial para a sustentabilidade agrícola. Essas práticas favorecem o desenvolvimento da microbiota edáfica e intensificam processos biogeoquímicos responsáveis pela transformação e disponibilidade de nutrientes no solo (Silva et al., 2026).

Os bioinsumos exercem influência direta sobre diferentes processos químicos do solo, especialmente aqueles relacionados à fertilidade e à ciclagem de nutrientes, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Alterações químicas no solo promovidas pelos bioinsumos.

<b>Processo químico</b>	<b>Mecanismo de ação</b>	<b>Efeito no solo</b>
Fixação biológica de nitrogênio	Conversão de N <sub>2</sub> atmosférico por microrganismos simbióticos	Aumento da disponibilidade de nitrogênio
Solubilização de fósforo	Produção de ácidos orgânicos e enzimas fosfatases	Maior disponibilidade de fósforo assimilável
Mineralização da matéria orgânica	Atividade enzimática microbiana	Liberação gradual de nutrientes
Aumento da matéria orgânica do solo	Decomposição de resíduos orgânicos	Melhoria da fertilidade química
Modulação do pH rizosférico	Liberação de compostos orgânicos	Maior eficiência na absorção de nutrientes

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui um dos principais componentes responsáveis pela manutenção da fertilidade e da qualidade química dos agroecossistemas. Além de atuar como reservatório de carbono, a MOS é composta por elementos essenciais como carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), representados pela sigla CHONPS. Esses elementos participam diretamente dos ciclos biogeoquímicos e da dinâmica nutricional do sistema solo-planta, sendo fundamentais para a produtividade agrícola sustentável (Bettioli, 2023).

A interação entre bioinsumos e matéria orgânica resulta na melhoria da estrutura química do solo, promovendo aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), maior retenção de nutrientes e estabilidade

dos agregados do solo. Esses efeitos contribuem para a redução de processos degradativos, como erosão e compactação, frequentemente associados a sistemas de cultivo intensivo (Cruz et al., 2025).

Outro aspecto relevante envolve a atuação de microrganismos solubilizadores de fósforo, os quais desempenham papel fundamental na disponibilidade desse nutriente em solos tropicais altamente intemperizados. Esses microrganismos atuam por meio da liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e da produção de enzimas como fosfatases e fitases, promovendo a transformação de formas insolúveis de fósforo em compostos assimiláveis pelas plantas (Mininel et al., 2026).

Além disso, a microbiota do solo desempenha papel essencial nesses processos químicos, sendo composta por bactérias, fungos, actinomicetos e protozoários. Esses organismos participam ativamente da decomposição da matéria orgânica, da ciclagem de nutrientes e da manutenção da fertilidade do solo. Os protozoários, em especial, contribuem para a regulação das populações bacterianas e para a mineralização de nutrientes, sendo altamente sensíveis às alterações ambientais e atuando como bioindicadores da qualidade do solo, especialmente em ambientes impactados por contaminantes químicos como pesticidas (Nhaca, 2025).

A fertilidade do solo, portanto, está diretamente relacionada à atividade microbiológica e à eficiência dos processos bioquímicos mediadores da transformação de nutrientes. A utilização de bioinsumos favorece o equilíbrio desses sistemas, promovendo maior eficiência na ciclagem de nutrientes e contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Silva et al., 2026). A síntese

comparativa entre os sistemas convencional e com bioinsumos é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Comparação entre sistema convencional e uso de bioinsumos no solo

<b>Aspecto</b>	<b>Sistema convencional</b>	<b>Sistema com bioinsumos</b>
Origem dos insumos	Sintética	Biológica
Atividade microbiológica	Reduzida	Estimulada
Disponibilidade de nutrientes	Rápida, porém menos sustentável	Gradual e regulada biologicamente
Matéria orgânica do solo	Redução progressiva	Aumento progressivo
Estrutura do solo	Maior degradação	Melhoria estrutural
Sustentabilidade	Baixa	Alta

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Dessa forma, os bioinsumos promovem alterações químicas significativas no solo ao atuarem diretamente nos ciclos biogeoquímicos, na disponibilidade de nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica. Esses efeitos, associados à intensificação da atividade microbiológica e à melhoria das propriedades químicas do solo, reforçam seu papel estratégico na transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e ambientalmente equilibrados.

### **3.3. Bioinsumos Como Estratégia para Sustentabilidade e Conservação Ambiental**

A intensificação dos sistemas agrícolas convencionais tem sido associada ao aumento da pressão antrópica sobre os agroecossistemas, sobretudo em função do uso contínuo de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos. Esse processo tem provocado alterações significativas na estrutura e no funcionamento dos sistemas edáficos, com impactos diretos sobre a biodiversidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a estabilidade dos processos biogeoquímicos.

Nesse contexto, observa-se que pesticidas de origem botânica e biológica, incluindo óleos essenciais de *Azadirachta indica* (neem), citronela, alho e cebola, além de biofertilizantes, apresentam menor toxicidade relativa e reduzida persistência ambiental, contribuindo para a manutenção da diversidade microbiana e da atividade enzimática do solo (Nhaca, 2025). Em contrapartida, compostos sintéticos como glifosato, organofosforados e triazinas são frequentemente associados à elevada persistência ambiental, potencial de bioacumulação e efeitos ecotoxicológicos, com consequente comprometimento das funções ecológicas do solo.

Embora biopesticidas apresentem limitações relacionadas à estabilidade química e à variabilidade de desempenho em condições de campo, sua aplicação representa uma alternativa mais sustentável sob a perspectiva ecotoxicológica e ecológica, especialmente quando comparada aos agroquímicos convencionais (Nhaca, 2025).

A sensibilidade da biota edáfica às alterações químicas decorrentes do uso de agroquímicos permite sua utilização como indicador da qualidade ambiental do solo. Nesse sentido, protozoários ciliados e testáceos destacam-se como bioindicadores relevantes, devido à sua ampla distribuição, elevada sensibilidade a perturbações ambientais e facilidade de cultivo em condições experimentais. Evidências indicam uma correlação negativa entre a densidade desses organismos e a concentração de pesticidas organofosforados no solo, reforçando seu potencial como ferramentas eficazes para monitoramento ecotoxicológico em sistemas agrícolas intensivos (Nhaca, 2025).

A aplicação de bioinsumos insere-se, portanto, no contexto de transição para sistemas agrícolas sustentáveis, caracterizados pela integração entre produtividade e conservação ambiental. Esses insumos atuam de forma multifuncional sobre as propriedades do solo, promovendo melhorias simultâneas nas suas dimensões físicas, químicas e biológicas. Em particular, biopesticidas de origem microbiana têm demonstrado eficiência no controle de fitopatógenos e pragas agrícolas, com reduzido impacto sobre organismos não alvo e menor risco de contaminação ambiental. Além disso, tais insumos contribuem para o incremento da capacidade de retenção hídrica, a melhoria da agregação do solo e o estímulo à atividade microbiana benéfica, fatores essenciais para a manutenção da fertilidade e resiliência dos agroecossistemas (Silva et al., 2024).

No âmbito da ciclagem de nutrientes, destaca-se o papel dos microrganismos solubilizadores de fósforo, os quais desempenham função ecológica crítica em solos tropicais altamente intemperizados, onde o fósforo frequentemente se encontra

imobilizado em formas pouco disponíveis. Esses microrganismos mobilizam o fósforo por meio da excreção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e da produção de enzimas hidrolíticas, como fosfatases e fitases, promovendo a conversão de formas insolúveis em frações assimiláveis pelas plantas. Esse mecanismo reduz a dependência de fertilizantes fosfatados sintéticos, contribuindo para a conservação de recursos naturais não renováveis e para a mitigação de impactos ambientais associados à sua produção e uso intensivo. Adicionalmente, tal processo reduz o risco de eutrofização de ecossistemas aquáticos adjacentes às áreas agrícolas, promovendo maior equilíbrio ambiental em escala de paisagem (Cruz et al., 2025).

O uso intensivo de agrotóxicos também tem sido associado a processos evolutivos adaptativos em populações de organismos-alvo, descritos como uma dinâmica de “corrida coevolutiva bioquímica”. Esse fenômeno resulta na seleção de genótipos resistentes, exigindo o desenvolvimento contínuo de moléculas mais potentes e específicas, o que intensifica a pressão seletiva sobre os ecossistemas e amplia os impactos ambientais associados ao uso desses compostos. Paralelamente, a dispersão de agrotóxicos por deriva durante aplicações terrestres e aéreas contribui para a contaminação de áreas não alvo, afetando organismos benéficos e comprometendo a integridade funcional dos ecossistemas adjacentes (Caldas, 2024).

Em contraste, abordagens agroecológicas têm sido progressivamente reconhecidas como estratégias tecnicamente viáveis para a sustentabilidade agrícola em diferentes escalas de produção. Evidências recentes indicam que a implementação de práticas agroecológicas em sistemas extensivos, como monocultivos

de soja e milho, requer a integração de princípios ecológicos ao planejamento produtivo, bem como a valorização dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo solo, pela microbiota e pela diversidade vegetal (Cruz et al., 2025).

Nesse contexto, sistemas alternativos de produção, como a agricultura agroecológica, biodinâmica, natural e a permacultura, emergem como modelos baseados na autorregulação dos agroecossistemas e na minimização de insumos externos. Esses sistemas priorizam processos ecológicos fundamentais, incluindo ciclagem de nutrientes, manutenção da matéria orgânica, regulação biológica de populações de pragas e conservação da biodiversidade funcional, promovendo maior equilíbrio entre produtividade agrícola, estabilidade ecológica e sustentabilidade ambiental (Feitosa et al., 2024).

Embora a agropecuária desempenhe papel estratégico na economia brasileira e global, o setor enfrenta desafios críticos relacionados ao uso intensivo de agrotóxicos no manejo fitossanitário. Apesar de sua relevância para a manutenção da produtividade agrícola, o uso indiscriminado desses insumos pode resultar em impactos ambientais significativos, contaminação de recursos naturais e riscos à saúde humana e animal, reforçando a necessidade de transição para modelos produtivos baseados em processos biológicos e tecnologias sustentáveis (Caldas, 2024).

Por fim, práticas conservacionistas como o sistema de plantio direto, caracterizado pela ausência ou redução do revolvimento do solo e pela manutenção de cobertura vegetal permanente, têm demonstrado efeitos positivos na conservação da matéria orgânica, na redução da erosão hídrica e eólica e na melhoria das

propriedades físico-químicas e biológicas do solo. De forma complementar, estratégias de manejo integrado, incluindo rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, associadas à atuação de microrganismos regenerativos, potencializam processos-chave como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e controle biológico de pragas, contribuindo para o fortalecimento da resiliência dos agroecossistemas e para a transição rumo a sistemas agrícolas sustentáveis e climaticamente inteligentes (Queiroz, 2025).

### **3.4. Limitações Técnicas, Econômicas e Regulatórias para Aplicação dos Bioinsumos**

Apesar do crescente avanço dos bioinsumos na agricultura sustentável, sua aplicação em larga escala ainda enfrenta importantes limitações técnicas, econômicas e regulatórias. Esses desafios dificultam a consolidação dos bioinsumos como alternativa plenamente competitiva em relação aos fertilizantes e defensivos químicos convencionais. Segundo Cruz *et al.*, (2025) e Silva *et al.*, (2024), embora os bioinsumos apresentem elevado potencial ambiental e agrônômico, sua adoção ainda é limitada por fatores relacionados à eficiência produtiva, ausência de padronização tecnológica, custos de implementação e entraves regulatórios.

Do ponto de vista técnico, um dos principais entraves está relacionado à variabilidade da eficiência dos bioinsumos em diferentes condições ambientais e sistemas de cultivo. Segundo Shahzad *et al.*, (2025), fatores como temperatura, umidade, características do solo e interação microbiológica podem interferir diretamente na sobrevivência e desempenho dos microrganismos utilizados nos biofertilizantes. Além disso, Miranda *et al.*, (2024) ressaltam que a estabilidade biológica durante armazenamento,

transporte e aplicação ainda representa um grande desafio para a indústria de bioinsumos, especialmente em formulações contendo microalgas e microrganismos vivos.

Outro aspecto importante refere-se à falta de padronização nos processos de produção e controle de qualidade. Simarmata *et al.*, (2024) destacam que a ausência de protocolos uniformes para formulação, registro e validação agrônômica limita a confiabilidade e a expansão comercial desses produtos. Nesse sentido, Silva *et al.*, (2024) enfatizam que muitos bioinsumos ainda apresentam inconsistência quanto à concentração microbiológica, vida útil e eficiência agrônômica, dificultando sua adoção por produtores rurais.

As limitações econômicas também representam um fator relevante. Embora os bioinsumos apresentem benefícios ambientais e potencial de redução de impactos negativos ao solo e aos recursos hídricos, sua adoção ainda demanda investimentos em pesquisa, infraestrutura tecnológica e capacitação técnica. Cruz *et al.*, (2025) apontam que pequenos e médios produtores frequentemente enfrentam dificuldades de acesso a tecnologias, assistência técnica especializada e informações adequadas sobre o uso eficiente desses produtos. Além disso, os custos associados à pesquisa e ao desenvolvimento de formulações mais estáveis ainda elevam o valor comercial de muitos bioinsumos.

Sob o ponto de vista regulatório, a legislação relacionada aos bioinsumos ainda é considerada um dos principais gargalos para expansão do setor. Vidal *et al.*, (2021) destacam que a construção de políticas públicas voltadas aos bioinsumos no Brasil ainda se encontra em processo de consolidação, exigindo maior integração

entre instituições de pesquisa, órgãos reguladores e setor produtivo. Ao comparar os sistemas regulatórios do Brasil e da União Europeia, afirma que os processos de registro ainda apresentam elevada burocracia e ausência de harmonização internacional, dificultando a inovação e a comercialização desses produtos em diferentes mercados Albuquerque (2025)

Além disso, Santos *et al.*, (2024) observam que muitos países ainda não possuem definições regulatórias claras para biofertilizantes, o que gera insegurança jurídica e dificulta a expansão do mercado global. Os autores ressaltam que a ausência de normas específicas para produção, comercialização e fiscalização pode comprometer tanto a qualidade quanto a credibilidade dos bioinsumos junto aos agricultores.

Paralelamente, Santos, Oliveira e Putti (2024) destacam que o panorama tecnológico das patentes biológicas demonstra crescente avanço científico na área de bioinsumos, porém evidenciam também a necessidade de maior investimento em inovação, proteção intelectual e transferência de tecnologia para o setor agrícola. Segundo Mira e Mira (2025), a incorporação dos princípios da química verde na produção de insumos agrícolas sustentáveis representa uma importante estratégia para superar parte dessas limitações, favorecendo processos mais seguros, eficientes e ambientalmente adequados.

Embora os bioinsumos representem uma alternativa promissora, sua consolidação enfrenta desafios técnicos, econômicos e regulatórios. Superar tais limitações exige pesquisas avançadas, políticas públicas de incentivo e marcos legais modernos. Conforme apontam Vidal *et al.*, (2021), Simarmata *et al.*, (2024) e Santos *et al.*,

(2024), a harmonização regulatória somada ao avanço biotecnológico será o pilar decisivo para ampliar a adoção desses produtos na agricultura sustentável.

### **3.5. Perspectivas Biotecnológicas e Avanços Futuros no Desenvolvimento de Bioinsumos**

Os avanços da biotecnologia agrícola têm ampliado significativamente o potencial dos bioinsumos como alternativas sustentáveis aos fertilizantes químicos convencionais. O uso desses produtos está associado à necessidade de transformação dos sistemas agroalimentares, visando maior produtividade com menor impacto ambiental, especialmente diante das mudanças climáticas e da degradação dos solos (FAO, 2024; Brunelle *et al.*, 2024).

Os biofertilizantes de nova geração vêm sendo desenvolvidos a partir de microrganismos promotores de crescimento vegetal, metabólitos microbianos, consórcios biológicos e compostos bioativos capazes de atuar na nutrição, no crescimento e na resistência das plantas aos estresses ambientais (Santos *et al.*, 2024). Nesse contexto, as bactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPRs) destacam-se por favorecerem a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fósforo e a produção de fitormônios, contribuindo para maior eficiência agrônômica e sustentabilidade da produção agrícola (Aloo *et al.*, 2022).

Além disso, novas abordagens biotecnológicas vêm incorporando microalgas, cianobactérias e biossurfactantes na formulação de bioinsumos. Segundo Miranda *et al.*, (2024), microalgas apresentam elevada capacidade de produção de compostos bioativos e bioestimulantes naturais, promovendo melhorias no

desenvolvimento vegetal. Da mesma forma, da Silva *et al.*, (2026) destacam que os biossurfactantes associados à celulose bacteriana representam uma fronteira promissora devido à sua biodegradabilidade e potencial de aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo.

Outro avanço importante refere-se ao uso de técnicas de bioengenharia, nanotecnologia e encapsulamento microbiano para aumentar a estabilidade e eficiência dos biofertilizantes em diferentes condições ambientais (Ghorai & Ghosh, 2022). Essas inovações poderão favorecer a aplicação dos bioinsumos em sistemas agrícolas mais tecnificados e integrados à agricultura de precisão.

Estudos recentes também apontam que a combinação entre biofertilizantes, extratos vegetais e bioestimulantes naturais pode potencializar o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas. Kakbra (2024), por exemplo, observou melhorias no crescimento e qualidade de frutos de pepino utilizando extrato de moringa, algas marinhas e biofertilizantes em cultivo protegido.

Portanto, os bioinsumos de próxima geração representam uma importante estratégia para promover uma agricultura mais resiliente, produtiva e sustentável. Segundo Simarmata *et al.*, (2024) e Mrudhula e Rajesh (2025), o futuro desses produtos está diretamente relacionado ao avanço da biotecnologia microbiana, ao desenvolvimento de formulações inteligentes e à integração com práticas agrícolas sustentáveis.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de bioinsumos na agricultura representa uma estratégia promissora para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis, resilientes e ambientalmente equilibrados. A partir da análise das produções científicas selecionadas, verificou-se que os bioinsumos exercem papel relevante na melhoria das propriedades químicas, biológicas e físicas do solo, favorecendo processos essenciais como ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e aumento da matéria orgânica. Esses mecanismos contribuem diretamente para a manutenção da fertilidade do solo e para a redução da dependência de fertilizantes e defensivos químicos sintéticos.

Os resultados discutidos ao longo da revisão evidenciam que os bioinsumos apresentam potencial significativo para minimizar impactos ambientais associados ao modelo agrícola convencional, especialmente no que se refere à contaminação do solo e da água, à degradação da microbiota edáfica e à perda da biodiversidade. Além disso, observou-se que a integração entre bioinsumos, práticas agroecológicas e manejo conservacionista favorece a conservação ambiental, a estabilidade ecológica dos agroecossistemas e a promoção da agricultura regenerativa.

No âmbito químico, ficou evidente que os bioinsumos atuam diretamente nos processos bioquímicos e microbiológicos do solo, influenciando a disponibilidade de nutrientes e a dinâmica da matéria orgânica. A atuação de microrganismos promotores de crescimento vegetal, fungos micorrízicos e bactérias solubilizadoras de fósforo demonstra a importância da microbiologia do solo na sustentabilidade agrícola contemporânea.

Entretanto, apesar dos avanços científicos e tecnológicos observados nos últimos anos, ainda persistem limitações relacionadas à estabilidade biológica, padronização produtiva, eficiência agrônômica em diferentes condições ambientais e regulamentação dos bioinsumos. Aspectos econômicos e técnicos também representam desafios para sua ampla adoção, especialmente por pequenos produtores rurais que possuem acesso limitado à assistência técnica e às tecnologias de produção.

Dessa forma, conclui-se que os bioinsumos constituem ferramentas estratégicas para a transição rumo a modelos agrícolas mais sustentáveis e climaticamente inteligentes. Contudo, sua consolidação depende do fortalecimento de políticas públicas, ampliação de investimentos em pesquisa biotecnológica, harmonização regulatória e incentivo à transferência de tecnologia para o setor agrícola. Além disso, novas investigações científicas são necessárias para aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos de ação dos bioinsumos, sua interação com a microbiota do solo e sua eficiência em diferentes sistemas de cultivo.

Por fim, esta revisão contribui para a ampliação do conhecimento científico acerca das aplicações químicas dos bioinsumos no solo e reforça sua relevância como alternativa sustentável para a agricultura do futuro, conciliando produtividade agrícola, conservação ambiental e segurança alimentar.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical

fertilizers. **Microbial Ecology**, v. 58, n. 4, p. 921–929, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>

ALBUQUERQUE, N. S. **Políticas regulatórias para o registro de bioinsumos: uma análise comparativa entre Brasil e União Europeia**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2025.

ALOO, B. N.; TRIPATHI, V.; MAKUMBA, B. A.; MBEGA, E. R. Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, p. 1002448, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.1002448.

BALTZAR, Miriam et al. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: an overview. *Biomolecules*, v. 11, n. 8, p. 1096, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11081096>

BASU, Asish et al. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, v. 13, n. 3, p. 1140, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031140>

BETTIOLO, Wagner et al. (ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 1. ed. Publicação digital (PDF). 788 p. ISBN 978-65-89957-66-9.

BRUNELLE, T. et al. Chemical input reduction in agriculture requires a system change. **Communications Earth & Environment**, Londres, v. 5, p. 369, 2024. DOI: 10.1038/s43247-024-01508-6.

BULGARI, Roberta; FRANZONI, Giulia; FERRANTE, Antonio. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, v. 9, n. 6, p. 306, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>

CALDAS, Vitória M. **Uso de bioinsumos como alternativa aos agrotóxicos: um relato de experiência.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Campus Campos Belos, Campos Belos, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5150>. Acesso em: 19 mai. 2026.

CALVO, Pamela; NELSON, Louise; KLOEPPER, Joseph W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p. 3–41, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

CRUZ, Dennis Ricardo Cabral; SANTOS, Fenelon Lourenço de Sousa; SANCHES, Danilo de Souza. O uso de bioinsumos na agricultura brasileira: uma revisão sobre impactos ambientais e econômicos. **Revista Mirante (ISSN 1981-4089)**, v. 18, n. 3, p. 110-130, 2025.

DAMALAS, C. A.; KOUTROUBAS, S. D. Current status and recent developments in biopesticide use. **Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture8010013>

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Effectiveness of organic wastes as fertilizers and amendments in salt-affected soils. **Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 221–230, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture5020221>

DILL, Ricardo Eugenio. **Bioinsumos na agricultura brasileira: Alternativa biológica para uma agricultura ambientalmente**

**sustentável**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

DU JARDIN, Patrick. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

FAO. **The State of Food and Agriculture 2024: Value-driven transformation of agrifood systems**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.

FEITOSA, Patrícia Marques et al. Potencial do uso de extratos de algas na agricultura sustentável. **Manejo fisiológico e nutricional de plantas: Abordagens práticas na agricultura**, v. 2, p. 78-98, 2024.

GHORAI, P.; GHOSH, D. Enhancing NPK biofertilizer performance toward sustainable agriculture with special emphasis on bioengineering. **Bioresource Technology Reports**, Amsterdam, v. 19, p. 101117, 2022. DOI: 10.1016/j.biteb.2022.101117.

HALPERN, Meirav et al. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. **Advances in Agronomy**, v. 130, p. 141–174, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>

KAKBRA, Roshna Faeq. Effect of seaweed, moringa leaf extract and biofertilizer on growth, yield and fruit quality of cucumber under greenhouse condition. **Journal of Horticultural Science**, 2024.

KÖHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>

LEHMANN, J. et al. The concept and future prospects of soil health. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 544–553, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

MAHANTY, T. et al. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 3315–3335, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>

MININEL, Francisco José et al. Bioinsumos na agricultura sustentável: integração interdisciplinar entre química e biologia. **Revista Tópicos**, v. 4, n. 30, p. 1-12, 2026.

MIRA, A. B.; MIRA, A. B. A química verde aplicada à agronomia na produção de insumos agrícolas sustentáveis: uma revisão bibliográfica. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 1, p. 1–26, 2025.

MIRANDA, A. M.; HERNANDEZ-TENORIO, F.; VILLALTA, F.; VARGAS, G. J.; SÁEZ, A. A. Advances in the development of biofertilizers and biostimulants from microalgae. **Biology**, Basel, v. 13, n. 3, p. 199, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13030199>.

MRUDHULA, C.; RAJESH, J. Next-generation biofertilizers and biostimulants: microbial innovations for Indian farming, 2025.

NHACA, Vânia. **Pesticidas orgânicos como alternativa sustentável para o controle de pragas e preservação da microbiota do solo**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biologia Aplicada) – Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2025. Disponível em:

<http://monografias.uem.mz/handle/123456789/5220>. Acesso em: 19 mai. 2026.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021. Disponível em: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>. Acesso em: 19 maio 2026.

PERTOT, I. et al. A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. **Crop Protection**, v. 97, p. 70–84, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.025>

POVEDA, J. Trichoderma as biocontrol agent against pests: new uses for a mycoparasite. **Biological Control**, v. 159, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>

QUEIROZ, Ana Karolyne Neves. **Relatório de estágio: agricultura regenerativa, produção de bioinsumos**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Campus Rio Verde, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5552>. Acesso em: 19 maio 2026.

ROUPHAEL, Youssef; COLLA, Giuseppe. Biostimulants in agriculture: a critical review. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1461, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>

SANTOS, F.; MELKANI, S.; OLIVEIRA-PAIVA, C. et al. Biofertilizer use in the United States: definition, regulation, and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 108, n. 1, p. 511, 2024. DOI: 10.1007/s00253-024-13347-4.

SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, A. L. P.; PUTTI, F. F. Bioinsumos na agricultura: panorama tecnológico das patentes biológicas. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 9, p. 4137, 2024.

SHAHZAD, M. et al. Biofertilizers in sustainable agriculture: mechanisms, applications, and future prospects. **Discover Agriculture**, v. 3, p. 224, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00318-0>

SILVA, Ana Caroline Batista da et al. Uso e efeito dos bioinsumos na agricultura. **Ciências Agrárias: O avanço da ciência no Brasil**, v. 4, p. 192-205, 2022.

SILVA, André Felipe Gouveia da et al. Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: Uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens. **Revista Mirante (ISSN 1981-4089)**, v. 17, n. 2, p. 250-265, 2024.

SILVA, Antônio Veimar da et al. Importância dos microrganismos do solo para a produtividade agrícola e o equilíbrio ambiental. **Revista Tópicos**, v. 4, n. 31, p. 1-29, 2026.

SILVA, M. G. C. da; MEDEIROS, A. O. de; ROQUE, B. A. C. et al. Next-generation bioinputs: a systematic review of biosurfactants in sustainable agriculture and research frontiers with bacterial cellulose. **Processes**, Basel, v. 14, n. 3, p. 398, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr14030398>.

SIMARMATA, T. et al. Revealing the crucial role and future prospects of biofertilizers in sustainable agriculture. **FFTC Journal of Agricultural Policy**, v. 7, 2024. Disponível em: FFTC Agricultural Policy Journal. Acesso em: 20 maio 2026.

VIDAL, M. C. et al. Bioinsumos: a construção de um programa nacional pela sustentabilidade do agro brasileiro. *Economic Analysis of Law Review*, v. 12, n. 3, p. 557–574, 2021.

YAKHIN, Oleg I. et al. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 2049, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

---

<sup>1</sup> Discente do Curso Superior de Licenciatura em Química da Universidade Estadual de Alagoas Campus Palmeira dos Índios. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>2</sup> Docente do Curso Superior de Licenciatura em Química da Universidade Estadual de Alagoas Campus Palmeira dos Índios. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>3</sup> Mestranda em Agricultura e Ambiente/UFAL *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>4</sup> Discente do Curso de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente na Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>5</sup> Discente do Curso de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente na Universidade Federal de Alagoas *Campus* Arapiraca. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)